

dr hab. Aleksandra Ziemińska-Buczyńska, prof. PŚ
Katedra Biotechnologii Środowiskowej
Wydział Inżynierii Środowiska i Energetyki
Politechnika Śląska

Gliwice, 14.05.2019 r.

RECENZJA

rozprawy doktorskiej Pana **mgr inż. Piotra Jana Świątczaka**,
przedstawiona w formie jednotematycznego cyklu publikacji
pt. **Oczyszczanie pofermentu w układzie z tlenowym osadem granulowanym i filtracją
membranową**
promotor: dr hab. inż. Agnieszka Cydzik-Kwiatkowska

1. Charakterystyka rozprawy i ocena cyklu publikacji, wchodzących w jej skład

Recenzja dysertacji Pana mgr inż. Piotra Jana Świątczaka została wykonana w oparciu o materiały przesłane przez Dziekana Wydziału Nauk o Środowisku Uniwersytetu Warmińsko-Mazurskiego w Olsztynie. Przedstawiona do oceny rozprawa doktorska zgodnie z przepisami określonymi Ustawą z dnia 13 marca 2003 o stopniach i tytule naukowych oraz o stopniach i tytule w zakresie sztuki (tekst jedn. Dz. U. z 2017 r. poz. 1789), została zaprezentowana w formie jednotematycznego cyklu 4 wieloautorskich publikacji, w których wkład autorstwa Doktoranta oszacowany został na 65 do 90%. We wszystkich publikacjach wchodzących w skład rozprawy Doktorant jest pierwszym autorem.

Prace te, wyszczególnione poniżej, stanowią rozprawę doktorską o wspólnym tytule „Oczyszczanie pofermentu w układzie z tlenowym osadem granulowanym i filtracją membranową”:

1. Świątczak P., Cydzik – Kwiatkowska A., 2019. Metody oczyszczania pofermentu. W: „Współczesne problemy ochrony środowiska i energetyki” (red. K. Pikoń, M. Bogacka,

M. Czop), Wydawnictwo Katedry Technologii i Urządzeń Zagospodarowania Odpadów, Politechnika Śląska, Gliwice (punktacja MNiSW: 4; udział Doktoranta: 90%)

2. Świątczak P., Cydzik – Kwiatkowska A., 2018. Treatment of ammonium-rich digestate from methane fermentation using aerobic granular sludge. *Water Air Soil Pollut.*, 229: 247. (punktacja MNiSW: 25; IF:1,769; udział Doktoranta: 85%)
3. Świątczak P., Cydzik – Kwiatkowska A., Zielińska M., 2019. Treatment of liquid phase of digestate from agricultural biogas plant in a system with aerobic granules and ultrafiltration. *Water*, 11(1): 104. (punktacja MNiSW: 30; IF: 2,069; udział Doktoranta: 70%)
4. Świątczak P., Cydzik – Kwiatkowska A., Zielińska M., 2019. Treatment of liquid phase of digestate from a biogas plant for water reuse. *Bioresource Technol.*, 276: 226-35. (punktacja MNiSW: 45; IF: 5,807; udział Doktoranta: 65%)

Wyniki ww. prac były finansowane z grantu własnego Doktoranta pt. Usuwanie azotu z frakcji ciekłej pofermentu w technologii granul tlenowych (projekt finansowany przez Narodowe Centrum Nauki, Preludium 12). Prace wchodzące w skład rozprawy doktorskiej opublikowano w latach 2018-2019. Ogólna liczba punktów za cykl prac stanowiących rozprawę doktorską według wykazu czasopism naukowych MNiSW z dnia 25 stycznia 2017 r., zgodny z rokiem ukazania się pracy wynosi 104 punkty. Trzy z czterech publikacji są indeksowane w *Web of Science* i posiadają współczynnik wpływu *Impact Factor* (IF). Sumarycznie wartość IF za te 3 publikacje zgodny z rokiem ukazania się prac wynosi 9,645.

Wymienione powyżej prace, wchodzące w skład rozprawy doktorskiej zostały poprzedzone opisem, który zawierał kolejno:

- streszczenie,
- *summary*,
- wstęp teoretyczny,
- opis celu i hipotez badawczych,
- metodykę przeprowadzonych analiz,
- omówienie uzyskanych wyników badań,
- podsumowanie i wnioski,
- bibliografię.

Wkład autorski Pana mg inż. Piotra Świątczaka w powstanie ww. prac polegał na stworzeniu koncepcji i zaplanowaniu prowadzonych badań, przeprowadzeniu analiz laboratoryjnych, dokonaniu interpretacji uzyskanych wyników, wyciągnięciu stosownych wniosków oraz napisaniu manuskryptów prac wchodzących w skład dysertacji oraz przygotowaniu ich do druku. Taki zakres autorstwa w pracach badawczych wskazuje, że Doktorant jest w stanie opracować kompleksowo koncepcję badań, wykonać stosowne analizy laboratoryjne, zanalizować i opisać oraz opublikować uzyskane wyniki badań. Zaangażowanie Doktoranta w przeprowadzenie eksperymentów oraz przygotowanie publikacji oceniam wysoko.

Głównym celem rozprawy doktorskiej było określenie wpływu parametrów technologicznych układu z tlenowym osadem granulowanym na efektywność oczyszczania pofermentu oraz morfologię i strukturę gatunkową granul. Doktorant wskazał 3 hipotezy badawcze, których weryfikacji podjął się w przedstawionej do oceny dysertacji:

1. technologia granulacji tlenowej umożliwi efektywne usuwanie azotu z pofermentu;
2. połączenie technologii tlenowego osadu granulowanego z filtracją membranową wpływa na efektywność oczyszczania ciekłej fazy pofermentu;
3. parametry technologiczne tlenowego osadu granulowanego wpływają na morfologię i skład gatunkowy granul.

W swojej pracy doktorskiej mgr inż. Piotr Świątczak pracował na pofermencie z biogazowni rolniczej, współfermentującej gnojowicę i kiszonkę kukurydzianą, w procesie fermentacji metanowej mokrej. Badania prowadził w laboratoryjnych reaktorach porcjowych z granulami tlenowymi (GSBR). W pierwszym etapie oczyszczał on poferment przy zmiennym obciążeniu biomasy ładunkiem azotu ogólnego, w drugim etapie natomiast faza ciekła pofermentu była oczyszczana przy różnej długości cyklu pracy. Biologicznie oczyszczona faza ciekła pofermentu poddawana była procesowi denitryfikacji końcowej przy zmiennym hydraulicznym czasie zatrzymania, zmiennym stężeniu biomasy oraz w warunkach dozowania zewnętrznego źródła węgla organicznego w postaci gliceryny odpadowej. Biologicznie oczyszczoną fazę ciekłą pofermentu i ścieki po denitryfikacji końcowej, wspomaganą gliceryną odpadową doczyszczano z użyciem ultrafiltracji przy zmiennym ciśnieniu transmembranowym.

W dopływie i odpływie z reaktorów prowadzono analizy fizykochemiczne oraz określano morfologię granul. Równoległe z badaniami technologicznym Doktorant prowadził również badania struktury taksonomicznej zbiorowisk bakteryjnych, wchodzących w skład granul

z użyciem sekwencjonowania nowej generacji na matrycy 16S rDNA. Uzyskane w badaniach wyniki poddawano również analizie statystycznej i bioinformatycznej.

W pracy doktorskiej, której dotyczy ta recenzja nie znalazłam błędów merytorycznych, mam natomiast kilka uwag oraz pytań, które mogą stanowić początek dyskusji nad zagadnieniami prezentowanymi w pracy:

1. we wstępie do autoreferatu Doktorant pisze, że poferment w zależności od składu początkowego wsadu do reaktora ma różny skład i może być różnorodnie zagospodarowywany. W jaki sposób można zagospodarowywać poferment, prócz użycia jako nawóz lub woda do nawadniania rolniczego?
2. W pracy wspomniano, że ilość i terminy stosowania pofermentu są regulowane krajowymi przepisami dotyczącymi gospodarki nawozami i dobrymi praktykami rolniczymi i w dużej mierze zależą od właściwości gleby i rodzaju upraw. Czy Doktorant mógłby przybliżyć kwestię gleb i typów upraw, które mogą lub nie mogą być nawożone pofermentem?
3. Doktorant wspomina, że „Wg FAO do pierwiastków zwiększających toksyczność należą sód, chlor oraz bor” – toksyczność czego? Jakich określonych związków (toksycznych)? Czy można tu podać jakieś konkretne przykłady i podjąć się wyjaśnienia mechanizmu takiego zwiększania toksyczności?
4. W autoreferacie wspomniano system odpędzania amoniaku AECO-NAR. Czy Doktorant mógłby wyjaśnić, jak działa ten system?
5. Pisząc „mikroorganizmy fakultatywne” (strona 11 autoreferatu) czy Doktorant miał na myśli fakultatywnie tlenowe/beztlenowe? Czy można w tych granulach również znaleźć mikroorganizmy bezwzględnie beztlenowe?
6. Co oznacza strefa „niedotleniona” na rysunku 1 (strona 11 autoreferatu)? Czym ona się charakteryzuje? Czy chodzi o strefę anoksydacyjną?
7. Na stronie 13 autoreferatu Doktorant wspomina, że utlenianie azotu amonowego w warunkach oczyszczania wód nadosadowych o niskim stosunku ChZT/N było prowadzone efektywnie jedynie przez heterotroficzne nitryfikatory, podczas gdy grupa nitryfikatorów autotroficznych miała bardzo niską liczebność. Jak można wyjaśnić mechanizm tego zjawiska?

8. Na stronie 20 autoreferatu i w publikacji nr 2 Doktorant wskazuje, że obciążenie biomasy warunkuje wielkość granul osadu (mniejsze granule przy niższym obciążeniu, dominacja większych granul przy wyższym obciążeniu). Jaki może być mechanizm tego zjawiska?
9. Na stronie 21 autoreferatu i w publikacji 3 Doktorant wykazał, że wydłużający się cykl GSBR powoduje zmianę struktury EPS – obniżenie stężenia białek w rozpuszczonej frakcji EPS i akumulację polisacharydów w granulach. Jaki mechanizm mógłby być odpowiedzialny za takie zjawisko? Czy i w jaki sposób zjawiska wspomniane w punkcie 8 i 9 są powiązane?
10. Na stronie 22 autoreferatu Doktorant wspomina, że w osadzie granulowanym oczyszczającym poferment ponad 50% wszystkich bakterii było w stanie metabolizować związki azotu. Zakładam, że takie stwierdzenie wynika głównie z faktu identyfikacji określonych bakterii w tym zbiorowisku i bazuje na informacjach literaturowych, dotyczących charakterystyki metabolicznej tych mikroorganizmów. Czy Doktorant mógłby zaproponować metodę/eksperyment, w którym byłaby możliwość precyzyjnego wskazania, które z mikroorganizmów zbiorowisku są faktycznie odpowiedzialne za proces określonej przemiany azotu?
11. Na stronie 23 autoreferatu wspomniany jest proces „denitrytacji”. Czy chodzi o denitryfikację?
12. Na stronie 25 i w publikacji 4 wskazano, że dodatek gliceryny odpadowej spowodował wyodrębnienie w biomase dwóch grup mikroorganizmów, z których pierwsza była obecna jedynie w obecności gliceryny. W tej grupie jest m. in. autotroficzna bakteria, prowadząca proces beztlenowego utleniania amoniaku – anammox: *Candidatus Jettenia*. Czy Doktorant mógłby podjąć się wyjaśnienia obecności właśnie tego rodzaju bakterii tylko w obecności gliceryny odpadowej?
13. Na stronie 26 autoreferatu Doktorant pisze, że „zasolenie odcieku [..], wyniosło 0,554 ds., a stężenie chlorków wynosiło 0,3 me/l, co wskazuje na brak ograniczeń w wykorzystaniu do nawodnień, nawet przy zastosowaniu rozdeszczowywaczy”. Dlaczego przy wykorzystaniu rozdeszczowywaczy można przyjąć inne stężenia chlorków i zasolenie oraz jakie to są wartości?

14. W publikacji nr 4 w podrozdziale 3.5 Doktorant wskazuje, że pozbawiony zawiesiny odpływ może być wykorzystany do hodowli mikroglonów do celów energetycznych. Mając na uwadze tempo wzrostu i wymiary ww. mikroorganizmów jaka jest opinia Doktoranta w kwestii wykorzystania mikroglonów do takich celów?

2. Ocena zasadności podjętej tematyki badawczej

Problem naukowy, którego rozwiązania podjął się w recenzowanej rozprawie Doktorant, dotyczy sprawdzenia wpływu parametrów technologicznych układu z tlenowym osadem granulowanym i filtracją membranową na efektywność procesu oczyszczania pofermentu pochodzącego z biogazowni. Jednocześnie Doktorant badał morfologię i strukturę gatunkową zbiorowisk granul prowadzących ten proces oraz wykazał wpływ wspomnianych parametrów technologicznych na zbiorowiska bakteryjne. Tematyka ta wpisuje się w najnowsze tematy inżynierii środowiska i biotechnologii, ze szczególnym uwzględnieniem gospodarki obiegu zamkniętego, stanowiącej aktualnie niezwykle widoczny i istotny trend w inżynierii i ochronie środowiska.

Zasadność przyjętej tematyki badawczej oceniam pozytywnie. Doktorant wykonał szereg eksperymentów badawczych, które pozwoliły na przetestowanie wykorzystania technologii osadu granulowanego i filtracji membranowej do oczyszczania pofermentu pochodzącego z biogazowni rolniczej, współfermentującej kiszonkę kukurydzianą i gnojowicę w procesie fermentacji mokrej. Poferment pochodzący z takiego procesu posiada cenne właściwości nawozowe lub może być wykorzystany do nawadniania rolniczego, jednak przed jego skierowaniem na pola uprawne musi on spełniać normy prawne, dotyczące jakości takich materiałów wykorzystywanych przyrodniczo. Badania wykonane w ramach tej dysertacji pozwoliły określić w jaki sposób należy oczyszczać poferment aby można go było bezpiecznie i efektywnie wykorzystywać do zasilania gleb.

3. Osiągnięcia pracy

Szybki rozwój biogazowni w Polsce obserwowany w ostatnim dziesięcioleciu powoduje problemy z zagospodarowaniem odpadów, jakie te zakłady produkują. Z przeglądu literaturowego, dokonanego w ramach dysertacji Doktorant wykazał, że brakuje efektywnych i tanich metod pozwalających przyrodniczo zagospodarowywać powstający w procesach fermentacji metanowej poferment. Ze względu na konieczność zmniejszania ilości generowanych w procesach

produkcyjnych odpadów oraz aktualne trendy wskazujące na możliwość i konieczność zagospodarowywania odpadów w obiegu zamkniętym, poszukiwanie skutecznych metod oczyszczania pofermentu to temat bardzo ważny i aktualny. Rozprawa doktorska Pana mgr inż. Piotra Świąteczaka zawiera opracowanie materiałów dotyczących procesów biotechnologicznych i fizykochemicznych, prowadzących do otrzymania oczyszczonego odpadu, który można wykorzystać przyrodniczo.

Za osiągnięcie w tej dysertacji uznaję wskazanie rozwiązania technologicznego, które integruje technologię granulacji tlenowej osadu czynnego z denitryfikacją końcową fazy ciekłej pofermentu po stopniu biologicznym i filtracją membranową, zapewniające efektywne oczyszczanie ścieków o wysokiej zawartość związków organicznych i azotu. Dodatkowe wykazanie możliwości użycia gliceryny odpadowej w tym procesie podnosi atrakcyjność ekonomiczną wskazanej technologii, a co za tym idzie, daje szansę na jego wdrożenie w skali technicznej.

Niewątpliwymi walorem przedstawionej do oceny pracy doktorskiej jest kompleksowo zaplanowany i przemyślany eksperyment badawczy w skali laboratoryjnej. Prezentuje on wpływ ważnych z punktu oczyszczania ścieków parametrów technologicznych na badany proces oraz przedstawia dodatkowo analizę mikrobiologiczną zbiorowiska bakteryjnego w osadzie granulowanym, wykonaną z użyciem jednej z najnowszych technik biologii molekularnej, jaką jest sekwencjonowanie nowej generacji. Uzyskane wyniki zostały prawidłowo zanalizowane, opracowane statystycznie, podsumowane i pozwoliły na napisanie spójnej tematycznie i poprawnej merytorycznie dysertacji.

4. Podsumowanie pracy

Doktorant przedstawił do oceny cykl 4 jednotematycznych publikacji naukowych. Prace o charakterze praktycznym, będące wynikiem badań laboratoryjnych, poprzedzała praca teoretyczna, stanowiąca dobrze zarysowane tło problemu badawczego i charakterystykę materiału badawczego. Badania zostały przeprowadzone w sposób kompleksowy. W polskojęzycznym autoreferacie Doktorant nie ustrzegł się drobnych błędów językowych, interpunkcyjnych i edycyjnych, które z reguły są nieuniknione i w żaden sposób nie umniejszają merytorycznie przedstawionej do recenzji pracy doktorskiej.

W oparciu o przeprowadzone badania Doktorant sformułował 10 wniosków, które pozwoliły zweryfikować postawione na początku pracy hipotezy badawcze. Moim zdaniem najważniejsze z nich to:

1. zastosowanie technologii granul tlenowych umożliwiło efektywne usunięcie azotu amonowego z pofermentu i jego fazy ciekłej;
2. zastosowanie ultrafiltracji istotnie poprawiało jakość biologiczne oczyszczonej fazy ciekłej pofermentu z GSBR;
3. morfologia, skład gatunkowy granul tlenowych oraz efektywność symultanicznej nityfikacji i denityfikacji zależały od długości cyklu GSBR;
4. zastosowanie gliceryny odpadowej jako zewnętrznego źródła węgla w denityfikacji końcowej zwiększyło liczebność denityfikantów akumulujących ortofosforany (*Junibacter* sp.) i kwas polihydroksymasłowy (*Paracoccus* sp. i *Thaurea* sp.), co poprawiło efektywność usuwania biogenów.

Wartym odnotowania jest również fakt, że Doktorant może pochwalić się dodatkowym dorobkiem naukowym, nie wchodzącym w skład pracy doktorskiej, ale tematycznie z nią związanym. W jego skład wchodzi 4 publikacje naukowe, posiadające wskaźnik wpływu IF w zakresie do 1,12 do 5,807, o sumarycznej wartości IF równym 11,827. Ponadto, Doktorant prezentował wyniki swoich badań na 3 konferencjach naukowych. Jednocześnie należy wspomnieć, że prace wchodzące w skład dysertacji powstały w ramach badań finansowanych przez Narodowe Centrum Nauki w projekcie Preludium, który Doktorant samodzielnie pozyskał. Prowadził on jednocześnie badania w dwóch innych projektach własnych, finansowanych przez Uniwersytet Warmińsko-Mazurski w Olsztynie (grant nr WSC/2016/15 pt. Wykorzystanie tlenowego osadu granulowanego do oczyszczania fazy ciekłej pofermentu” i grant nr 18.620.022.300 pt. Oczyszczanie ciekłej fazy pofermentu w dustopniowym układzie tlenowym z osadem granulowanym), co dodatkowo świadczy o tym, że Pan mgr inż. Piotr Świąteczak potrafi nie tylko planować i prowadzić badania naukowe, ale również efektywnie pozyskiwać niezbędne do ich prowadzenia środki finansowe.

5. Konkluzja końcowa

Przedstawiona do oceny dysertacja potwierdza umiejętności Doktoranta w planowaniu i samodzielnej realizacji badań naukowych, analizowaniu uzyskanych wyników, ich

podsumowywaniu i efektywnym publikowaniu w wysokopunktowanych czasopismach. W moim odczuciu rozprawa doktorska ma wysoki poziom, jest merytoryczna, spójna tematycznie i wskazuje na możliwość praktycznego zastosowania uzyskanych w niej wyników w inżynierii środowiska i biotechnologii. Nie mam wątpliwości, że rozprawa doktorska Pana mgr inż. Piotra Świątczaka pt. Oczyszczanie pofermentu w układzie z tlenowym osadem granulowanym i filtracją membranową, spełnia warunki określone w ustawie z dnia 14 marca 2003 r. o stopniach naukowych i tytule naukowym oraz o stopniach i tytule w zakresie sztuki (tekst jedn. Dz. U. z 2017 r., poz. 1789), zgodnie z art. 179 ust. 1 ustawy z dnia 3 lipca 2018 r. Przepisy wprowadzające ustawę – Prawo o szkolnictwie wyższym (Dz.U. z 2018 r. poz. 1669). Wnoszę więc o dopuszczenie Doktoranta do dalszych etapów postępowania w przewodzie doktorskim na Wydziale Nauk o Środowisku Uniwersytetu Warmińsko-Mazurskiego w Olsztynie.

A. Chęć - Burek
14.05.19